

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-34-43>

УДК 631.62:626.86



КОНСТРУКЦИИ ДРЕНАЖА И МЕТОД РАСЧЕТА ДЛЯ ПОДВАЛОВ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

В.В. Пчёлкин, К.С. Семёнова

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, Б. Академическая ул., 44, Россия

Аннотация. При рассмотрении гидрогеологических условий музейного комплекса «Куликово поле», расположенного в Кимовском районе Тульской области, было обнаружено, что отсутствует необходимая конструкция осушительной системы, которая обеспечивает отвод грунтовых вод с подвальных помещений. Цель исследований – разработка конструкции дренажа и обоснование метода расчета осушения подвалов глубокого заложения на примере музейного комплекса «Куликово поле». Предлагаемая конструкция вертикального дренажа позволяет повысить надежность работы осушительной системы за счет устройства фильтрующей обсыпки и обмотки из геотекстиля. Расчет предлагаемой конструкции вертикального дренажа состоит из определения следующих позиций: радиуса кривой депрессии (влияние дренажа в сторону от подвала строения); расхода (дебита) дренажа; притока воды в дренаж; снижения напора посередине между дренами ряда, подбор насосов вертикального дренажа. Предлагаемая конструкция дренажа, способ его строительства (получен патент на изобретение) и метод расчета апробированы при осушении подвальных помещений глубокого заложения музейного комплекса «Куликово поле». Созданная система отводит избыточные грунтовые воды, устраняет «барражный» эффект. Отмечается, что строительство дренажных систем, происходящее в настоящее время, требует тщательного учета опыта проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем предыдущего периода и использования новых перспективных, экономически выгодных решений.

Ключевые слова: водоприемная способность, дренажное устройство, геотекстиль, вертикальный дренаж, мелиорация, осушительная сеть, фильтрующая обсыпка

Формат цитирования: Пчёлкин В.В., Семёнова К.С. Конструкции дренажа и метод расчета для подвалов глубокого заложения // Природообустройство. 2024. № 4. С. 34-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-34-43>

Original article

DRAINAGE STRUCTURES AND CALCULATION METHOD FOR DEEP BASEMENTS

V.V. Pchelkin, K.S. Semenova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of Land Reclamation, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov; Moscow; 125434, B. Akademicheskaya st., 44, Russia

Abstract. For the considered hydrogeological conditions of the Kulikovo Pole museum complex, located in the Kimovsky district of the Tula region, there is no necessary design of the drainage system, the method of its construction and the calculation method to ensure the drainage of groundwater from the basement. A vertical drainage design and calculation method necessary for the normal operation of the Kulikovo Pole museum complex were proposed. The purpose of the work is to develop a drainage design and substantiate a method for calculating the drainage of deep basements using the example of the Kulikovo Pole museum complex. The proposed design of vertical drainage makes it possible to increase the reliability of the drainage system due to the installation of a filter bed and a geotextile winding. The calculation of the proposed vertical drainage design consists of determining the following positions: the radius of the depression curve (the influence of drainage away from the basement of the building); drainage flow rate; water inflow into the drain; reducing the pressure in the middle between the row drains, selecting vertical drainage pumps. The proposed drainage design, the method of its construction (a patent for the invention was received) and the calculation method were tested when draining the deep basements of the Kulikovo Pole museum complex. The created system drains excess groundwater and eliminates the “barrage” effect. It is noted that the construction of drainage systems

currently underway requires careful consideration of the experience of design and operation of drainage systems of the previous period and the use of new promising, cost-effective solutions.

Keywords: water intake capacity, drainage device, geotextiles, vertical drainage, reclamation, drainage network, filter bedding

Format of citation: Pchelkin V.V., Semenova K.S. Drainage structures and calculation method for deep basements // Prirodoobustrojstvo. 2024. № 4. P. 34-43. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-4-34-43>

Введение. Музейный комплекс «Куликово поле» расположен возле села Монастырщино (Кимовский район Тульской области) на территории заказника. Территория заказника имеет площадь 65200 га, расположена на Среднерусской возвышенности в пределах поймы междуречья Дона и Непрядвы и их притоков: Курцы, Смолки, Дубиков и Мокрой Таболы [1].

В геоморфологическом отношении музейный комплекс «Куликово поле» расположен на водораздельном склоне. У подножья склона был насыпан курган, и в этом месте построен данный комплекс. Абсолютные отметки дневной поверхности места сооружения комплекса изменяются от 206,73 до 214,44 м, перепад высот составляет 7,71 м.

Заглубление подземной части строений составило от 4 до 10 м. Построенный внутренний горизонтальный дренаж не справился с осушением подземной части комплекса. Следует отметить, что подземная часть строений проявила себя как «подземная плотина». Поверхностная вода от снеготаяния и обильных осадков, стекая по склону, доходила до зданий комплекса и, впитываясь в грунт, переходила в подземный ток. Образовывался так называемый «барражный» эффект, который вызвал подъем грунтовых вод. Поэтому фундаменты строений оказались под водой.

Слой воды, затопивший фундамент, составил 2,44 м. Грунтовая вода снаружи просочилась через стыки внутрь заглубленных помещений и образовала в них слой 0,2 м. В связи с этим возникла необходимость строительства дренажной системы. С учетом гидрогеологических условий, величины затопления подземной части зданий, невозможности прекращения проведения экскурсий был выбран вертикальный дренаж.

Анализ открытых источников литературы [2-6] показал, что для рассматриваемых условий отсутствуют необходимая конструкция дренажа, способ его строительства и метод расчета. Поэтому принято решение разработать конструкцию дренажа и обосновать метод расчета, необходимые для нормальной работы музейного комплекса «Куликово поле». На способ строительства вертикального дренажа был получен патент на изобретение [7].

Материалы и методы исследования. Согласно инженерно-геологическим

изысканиям (ООО «ТулаГео-Изыскания») с поверхности до глубины 0,7-1,2 м участок покрыт почвенно-растительным слоем.

На основании данных анализа материалов полевых и лабораторных работ выделено 7 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

ИГЭ-1 – почвенно-растительный слой (PdIV). Мощность слоя составляет 0,7-1,2 м. ИГЭ-3 – суглинок (PrII-III) от полутвердой до тугопластичной консистенции, реже – твердой и мягкопластичной, пылеватый, участками песчаный, с прослоями пластичной супеси, с прожилками гидрокарбонатных солей, суглинки обладают прерывистой просадочностью I типа, с натеканиями гумуса, ожелезнением.

ИГЭ-4 представлен суглинком (flgII-dn) твердой тугопластичной консистенции; пылеватый, с прослоями песка и супеси. Мощность слоя составляет от 0,7 до 4,30 м. ИГЭ-6 – песок (Mz) мелкозернистый, от влажного до водонасыщенного, средней плотности, глинистый. Залегает на глубине от 3,4 до 6,5 м, мощностью от 3,5 до 6,8 м. ИГЭ-7 – глина (C1) от полутвердой до тугопластичной консистенции, песчаная, алевритистая с прослоями песка, с включением дресвы щебня известняка, кремния. Залегает на глубине от 6,20 до 10,40 м, мощность – от 3,30 до 7,90 м. ИГЭ-7а – суглинок (глина) (C1) от полутвердой до тугопластичной консистенции, песчаный, участками с прослоями песка, с включением дресвы щебня известняка, кремния. Залегает на глубине от 11,20 до 18,40 м, мощность – от 3,90 до 4,80 м.

На площади музейного комплекса «Куликово поле» грунтовые воды встретились на глубине от 1,6 до 4,3 м на абсолютных отметках 203,03-212,14 м. Водовмещающими породами являются покровные и водноледниковые суглинки, а также мезозойские пески. Водупором являются нижне-каменноугольные тульские глины. Параметры коэффициента фильтрации определены по источникам литературы.

В период гидрогеологических максимумов следует ожидать подъема уровня грунтовых вод на 1 м выше уровней, отмеченных при изысканиях, а также появления грунтовых вод типа «верховодка» при глубине от 1,50 до 1,70 м над тяжелыми разностями суглинков ИГЭ-3 по всей площадке.

Таким образом, в месте расположения музейного комплекса «Куликово поле» имеет место грунтовый тип водного питания, а сам подвал находится в подтопленном состоянии.

По причине увеличения гидростатического давления разрушена защитная шпонка стен, и в подземной части музейного комплекса сформировался 0,2 м слой воды.

Осушительная система состоит из 20 вертикальных дренажных колодцев, расположенных по периметру музея на расстоянии 1,8 м от стен

фундамента, соединенных с колодцем гасителем напорной линией трубопровода. По периметру здания расположен магистральный трубопровод коллекторной линии. Грунтовые воды аккумулируются в дренажном колодце и откачиваются насосами в коллекторную линию, далее по коллекторам поступают на очистные сооружения, откуда насосом перекачиваются в большой пруд. Дренажная система частично совмещена с ливневой канализацией. Схема осушения музейного комплекса «Куликово поле» представлена на рисунке 1.

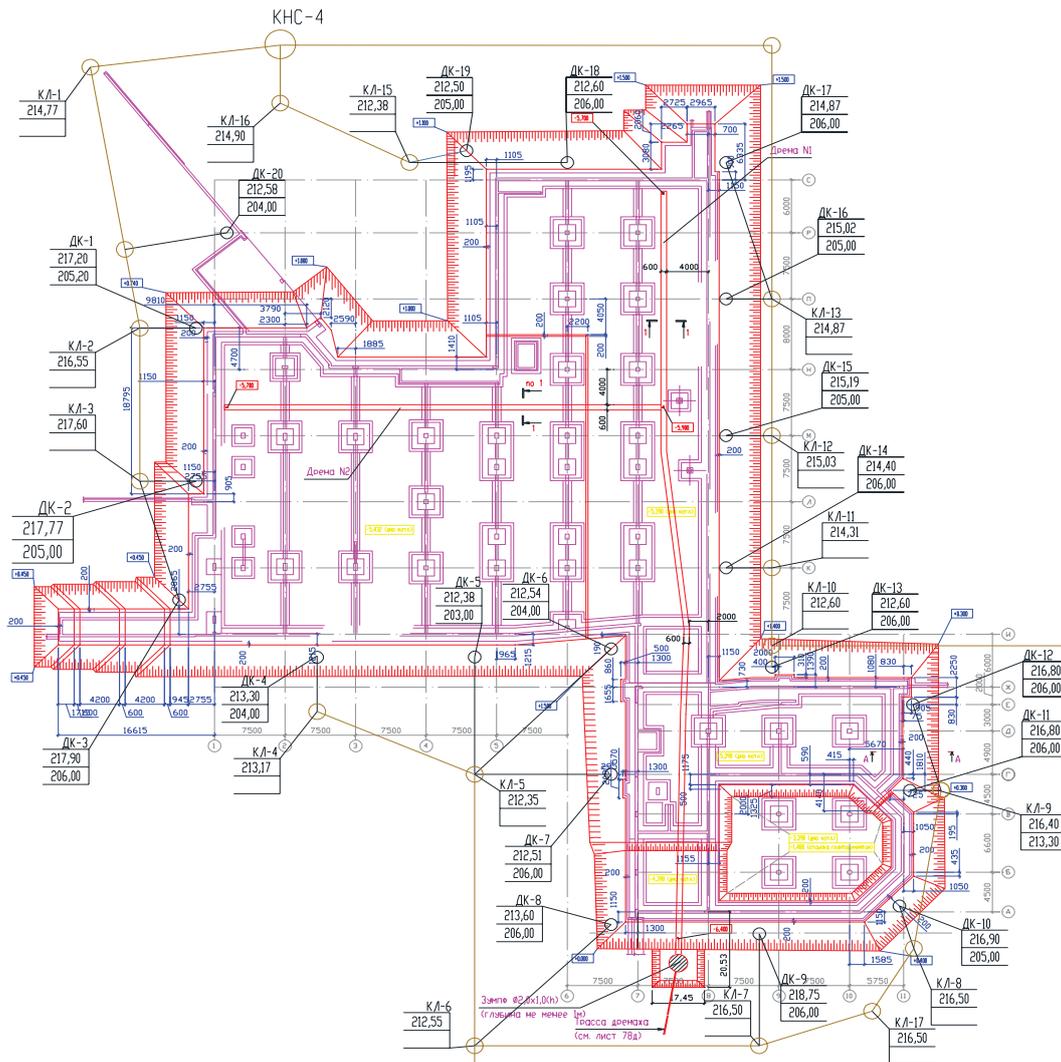


Рис. 1. Схема осушения музейного комплекса «Куликово поле»:

- – дренажный колодец; ○ – колодец ливневой канализации;
- — труба ливневой канализации (существующая);
- — труба ливневой канализации (проектируемая); — — напорный трубопровод;
- DK-12 – номер дренажного колодца; $\begin{matrix} 216,80 \\ 206,00 \end{matrix}$ – отметка поверхности земли (в 216,80),
206,00 – отметка дна дренажного колодца

Fig. 1. Drainage scheme of the Kulikovo Field Museum complex:

- – drainage well; ○ – storm drain well; — — storm sewer pipe (existing); — — storm sewer pipe (projected); — — pressure pipeline; DK-12 – drainage number; $\begin{matrix} 216,80 \\ 206,00 \end{matrix}$ – elevation of the ground surface (216.80),
elevation of the bottom of the drainage well (206.00)

Результаты и их обсуждение. Конструкции вертикальных дренажей, не предусматривающие устройства фильтровой обсыпки и обмотки из геотекстиля, приводят к вымыву мелкозема из грунта и образованию в нем пустых полостей, которые могут вызвать деформацию строений.

Конструкции вертикальных дренажей с устройством фильтровой обсыпки предполагают использование специальной буровой установки для ее строительства, применение которой ведет к существенному удорожанию работ. Такие установки использовать при сооружении вертикального дренажа в рассматриваемых условиях невозможно ввиду плотной застройки музейного комплекса «Куликово поле» и рельефа местности. В связи с этим авторами была разработана конструкция вертикального дренажа, включающего в себя фильтровую обсыпку и обмотку из геотекстиля [7].

Конструкция данного вертикального дренажа показана на рисунке 2.

Использование предлагаемой конструкции вертикального дренажа позволяет повысить надежность работы дренажной системы за счет устройства фильтрующей обсыпки и геотекстиля, намотанного на перфорированную пластмассовую трубу, расположенную в водоприемной части железобетонного колодца. Внедрение данной системы вертикального дренажа обеспечивает уменьшение вымыва мелкозема в дренаж, раздвигает границы гидрогеологических условий применения вертикального дренажа, понижает расходы в сравнении с дорогостоящими буровыми установками.

Расчет вертикального линейного дренажа. Расчет предлагаемой конструкции вертикального дренажа состоит из определения следующих позиций: радиуса кривой депрессии (влияние дренажа в сторону от подвала строения); расхода (дебита) дренажа; притока воды в дренаж; снижения напора посередине между дренажами ряда; подбора насосов вертикального дренажа. Определение всех позиций предлагаемого вертикального дренажа увязаны в единую методику расчета.

Радиус кривой депрессии от центра дренажа при равномерной инфильтрации подбирают по формуле Е.Е. Керкиса [8]:

$$R\sqrt{\lg R - \lg r_0} - 0,217 = 0,66\sqrt{k/WS_0(2H - S)} - 0,5r_0, \quad (1)$$

где r_0 – радиус равновеликого круга, к которому приводится реальный контур проектируемого дренажа, м; R – радиус действия дренажа при расчете радиуса кривой депрессии $R = R_2$, м; W – инфильтрационное

питание (в весеннем периоде), м/сут.; S – требуемое понижение уровня грунтовых вод (рис. 3); k – коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут.; H – расстояние от подошвы дренируемого пласта до непониженного уровня воды.

$$W = \frac{m_1 n}{1000 \cdot t}, \quad (2)$$

где m_1 – количество осадков в снегу за зимний период, мм; n – коэффициент инфильтрации (для мелкозернистых песков $n = 0,25$); t – расчетный период во время весеннего снеготаяния (5 сут.).

$$k = \frac{\hat{e}_1 h_1 + k_2 h_2 + \dots + \hat{e}_n h_n}{\sum h_n}, \quad (3)$$

где k_p, k_2 – коэффициент фильтрации, соответственно, верхнего подстилающего и n -го слоя грунта k_n , м/сут.; h_p, h_2, h_n – мощность, соответственно, верхнего подстилающего и n -го слоя грунта, м.

Дебит несовершенных вертикальных дрена при их работе в безнапорных условиях

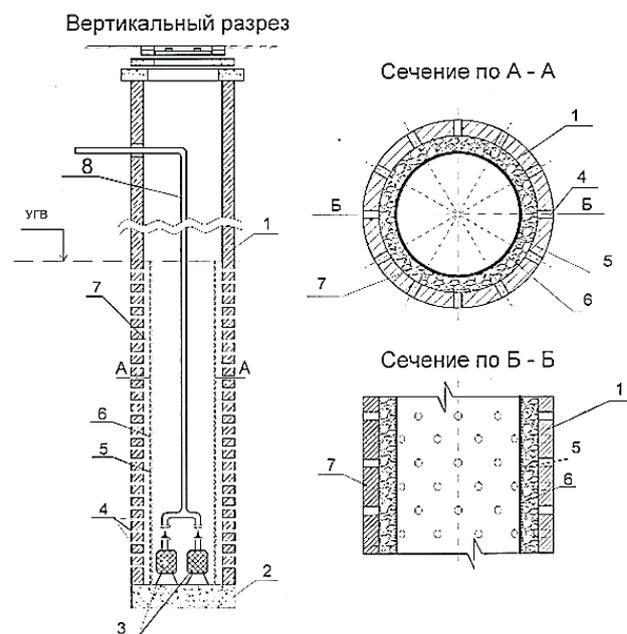


Рис. 2. Конструкция вертикального дренажа:

- 1 – железобетонный колодец;
- 2 – железобетонное днище;
- 3 – дренажные насосы;
- 4 – отверстия в стенках ж/б колодца;
- 5 – перфорированная пластмассовая труба;
- 6 – обмотка из фильтрующего геотекстиля;
- 7 – засыпка из песчано-гравийной смеси;
- 8 – напорная труба от насосов

Fig. 2. Vertical drainage design:

- 1 – reinforced concrete well,
- 2 – reinforced concrete bottom,
- 3 – drainage pumps, 4 – holes in the walls of the reinforced concrete well,
- 5 – perforated plastic pipe,
- 6 – winding made of filtering geotextile,
- 7 – backfill made of sand-gravel mixture,
- 8 – pressure pump pipe

и в установившемся режиме предлагается определять по формуле С.К. Абрамова [9], м³/сут.:

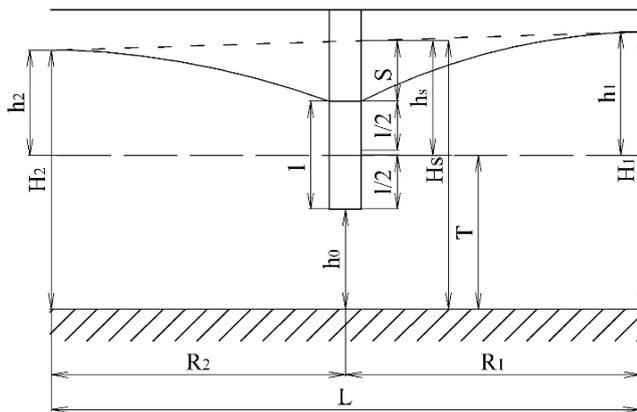
$$Q = 2\pi kS \left[\frac{2h_{cp} - S}{\ell n \frac{Rn}{\pi r_c} + \frac{\pi R_1 R_2}{\sigma L}} + \frac{2T\beta}{(1 + \beta)N} \right], \quad (4)$$

где $h_{cp} = \frac{h_1 + h_2 + h_s}{3}; \quad (5)$

$$h_s = S + \frac{\ell}{2}, \quad (6)$$

где ℓ – длина водопримной части скважины (или фильтра); S – понижение напора воды в дренах ряда, м; σ – половина расстояния между дренами в ряду; r_c – радиус дрен, м; R_1 – радиус кривой депрессии от центра дренажа, до стены подвала, м; R_2 – расстояние от границы области питания до контура дренажа, м; $L = R_1 + R_2$ – расстояние между областями питания и естественного дренажа.

$$\beta = \frac{N}{\xi_0}; \quad (7)$$



$$T = H_s - S; \quad (8)$$

$$N = \ell n \frac{\sigma}{\pi r_c} + \frac{\pi R_1 R_2}{\sigma L}; \quad (9)$$

$$\xi_0 = \frac{T}{l} \left[2\ell n \frac{4T}{r_c} - f\left(\frac{l}{\sigma L}\right) \right] - 1,38. \quad (10)$$

Приток воды в несовершенную вертикальную дренаю определяется по формуле:

$$Q^1 = \frac{Q}{\Phi_c + \zeta}, \quad (11)$$

где Φ_c – фильтрационное сопротивление совершенной скважины; ζ – дополнительное сопротивление на несовершенство дренажа.

$$\Phi_c = \frac{4\pi L_1 (L - L_1)}{\sigma L} + 2\ell n \frac{\sigma}{2\pi r_c}. \quad (12)$$

Дополнительное сопротивление на несовершенство дренажа ζ зависит от степени врезки дренажа в пласт и расстояния от рассматриваемой точки до дрены. Значения ζ представлены в таблице 1 [10].

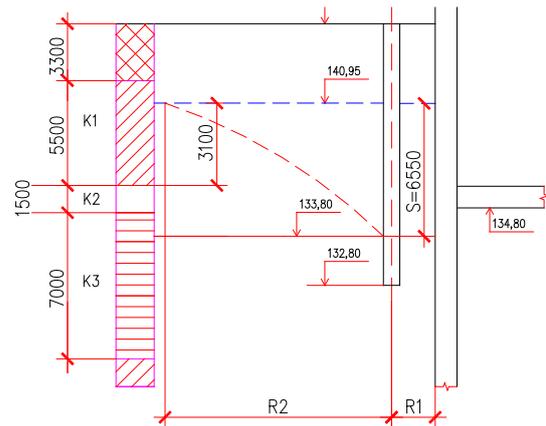


Рис. 3. Схема к расчету однолинейного вертикального дренажа несовершенного типа
Fig. 3. Scheme for calculating single-line vertical drainage of an imperfect type

Таблица 1. Значения ζ даны в зависимости от l/M

Table 1. Values ζ are given depending on l/M

l/M	Значения ζ при значениях M/r , равных Values ζ are given depending on M/r , equal to									
	0,5	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,05	0,00423	0,135	2,3	12,6	35,5	71,9	94	126	149	169
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	68,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,091	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11	12,4
0,7	0,00055	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,53	5,19
0,9	0,00005	0,0015	0,025	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

Условные обозначения: M – мощность напорного (водоносного) пласта; l – длина фильтра скважины; r – радиус скважины или расстояние до рассматриваемой точки. Для пластов со свободной поверхностью $M = h_e - 0,5S_{оп}$; $l = l_0 - 0,5S_{оп}$, где l_0 – разность отметок естественного уровня грунтовых вод и низа рабочей части скважины

Legend: M – thickness of the pressure (aquifer) formation; l – well filter length; r is the radius of the well or the distance to the point in question. For layers with a free surface $M = h_e - 0,5S_{op}$; $l = l_0 - 0,5S_{op}$, where l_0 is the difference between the elevations of the natural groundwater level and the bottom of the working part of the well

Для определения величины пониженного напора посередине между дренами ряда в безнапорных условиях для несовершенных дрен используется формула С.Ф. Аверьянова [9, 11]:

$$H_a = H - \left(1 - 0,22 \frac{\sigma}{r_c}\right) \beta \alpha, \quad (13)$$

где H_s – непониженный уровень подземных вод в месте расположения ряда дрен, м; S – понижение напора воды в дренах ряда, м;

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2}. \quad (14)$$

Схема к расчету однолинейного вертикального дренажа при заданных напорах на границе (в плане) представлена на рисунке 4.

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{2\sigma}{R} B}, \quad (15)$$

где $B = f\left(\frac{\sigma}{r_c}\right) = 0,73 \lg \frac{\sigma}{\pi r_c}$ определяется по графику (рис. 5); r_c – радиус дрен, м.

Коэффициент несовершенства дрен определяется по формулам:

- в сторону области питания

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \frac{m}{R_1} A}; \quad (16)$$

- в сторону естественного дренажа

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \frac{m}{R_2} A}; \quad (17)$$

$$A = 1,47 \lg \frac{1}{\sin \frac{\pi(l+d)}{2m}} \text{ определяется по гра-}$$

фику (рис. 6).

D – диаметр дрен.

$$\alpha = \frac{1}{1 + 1,47 \lg \frac{1}{\frac{\pi \ell}{2T}}}; \quad (18)$$

$$T = \frac{I_s + h_0}{2}, \quad (19)$$

где h_0 – высота столба воды в дренах ряда (от подошвы пласта), м.

Дебит совершенных вертикальных дрен при их работе в безнапорных условиях

и в установившемся режиме определяется по формуле А.В. Романова [12]:

$$Q = \frac{\pi k (2H_s - S) S}{\ln \frac{\sigma}{\pi r_c} + \frac{\pi R_1 R_2}{\sigma L}}. \quad (20)$$

Приток воды в совершенную вертикальную дренаю определяется по формуле:

$$Q^1 = \frac{Q}{\Phi_c}, \quad (21)$$

где Φ_c – фильтрационное сопротивление совершенной скважины, которое определяется по формуле:

$$\Phi_c = \frac{4\pi L_1 (L - L_1)}{2\sigma L} + 2 \ln \frac{2\sigma}{2\pi r_c}. \quad (22)$$

Результаты расчета понижения уровня грунтовых вод 20 вертикальными дренами представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что коэффициент фильтрации (K) водоносного слоя грунта составил от 8,04 до 8,74 м/сут. Радиус кривой депрессии вертикальных дрен при расчете оказался в диапазоне от 101 до 190 м в зависимости от их глубины и фильтрационных свойств грунта. Минимальная глубина воды в вертикальных дренах была принята равной 0,75 м в соответствии с габаритами насосов. Высота вертикальных дрен была запроектирована в соответствии с гидрогеологическими условиями и рельефом местности и составила 6,51-12,77 м. Согласно расчету дебит вертикальных дрен оказался в пределах от 316,7 до 612,5 м³/сут., а приток воды в них составил от 67,7 до 154,3 м³/сут. При этом фильтрационные сопротивления совершенных дрен составили от 3,97 до 4,68, а несовершенных дрен – 4,47.

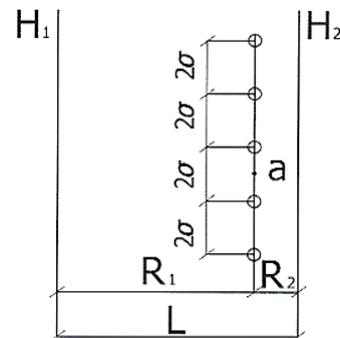


Рис. 4. Схема к расчету однолинейного вертикального дренажа при заданных напорах на границе (в плане)

Fig. 4. Scheme for calculating single-line vertical drainage at given pressures on the border (in plan)

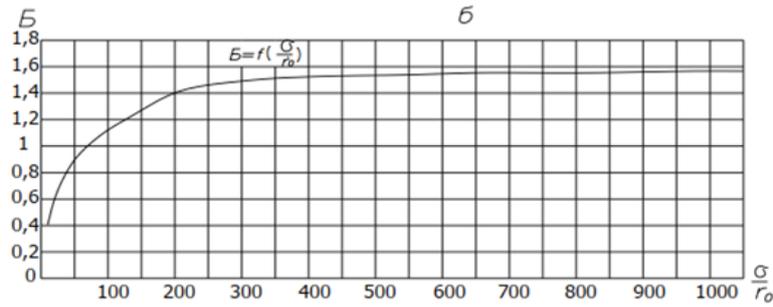


Рис. 5. График для определения величины Б
Fig. 5. Graph for determining the value of B

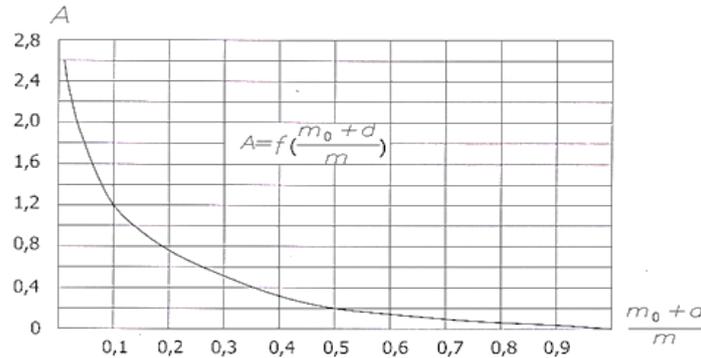


Рис. 6. График для определения величины А:
D – диаметр дрена
Fig. 6. Graph for determining the value of A:
D – diameter of drains

Таблица 2. Результаты расчета вертикального дренажа
Table 2. Results of calculation of vertical drainage

№ Скв. № Well	k, м/сут k, m / day	R, м R, m	H ₀ , м H ₀ , m	Глубина скважин-дрены, м Well depth-drains, m	Дебит скв.-дрены, м³/сут Well flow rate-drains, m³ / day	Приток воды в скв.-дрены, м³/сут Water inflow into wells-drains, m³ / day	Фильтрац. сопротивл. совершен. дрены Filtration resistance perfect drains
1	8,74	190	0,75	12	572	128	-
2	8,74	190	0,75	12,77	572	128	-
3	8,74	190	0,75	11,9	572	128	-
4	8,6	143	0,75	9,3	612,5	154,3	3,97
5	8,6	143	0,75	9,38	612,5	154,3	3,97
6	8,6	143	0,75	8,54	612,5	154,3	3,97
7	8,04	101	0,75	6,51	316,7	67,7	4,68
8	8,04	101	0,75	7,6	316,7	67,7	4,68
9	8,04	101	0,75	12,78	316,7	67,7	4,68
10	8,37	126	0,75	11,9	464,1	116,9	3,97
11	8,04	101	0,75	10,8	316,7	67,7	4,68
12	8,04	101	0,75	10,8	316,7	67,7	4,68
13	8,04	101	0,75	6,6	316,7	67,7	4,68
14	8,04	101	0,75	8,4	316,7	67,7	4,68
15	8,37	126	0,75	10,19	464,1	116,9	3,97
16	8,37	126	0,75	10,02	464,1	116,9	3,97
17	8,04	101	0,75	8,87	316,7	67,7	4,68
18	8,04	101	0,75	6,6	316,7	67,7	4,68
19	8,37	126	0,75	7,5	464,1	116,9	3,97
20	8,6	143	0,75	12,6	612,5	154,3	3,97
Сумма						2078,3	

Вертикальные дренажи работают совместно с насосом. Запроектирован один рабочий насос, другой является запасным.

Подбор насосов вертикального дренажа осуществляется на основе определения суммарного объема откачиваемой жидкости за один цикл и цикла откачки-наполнения.

Рабочий объем скважины – дренажи, л:

$$W_1 = Sh = \pi \cdot r^2 h. \quad (23)$$

Время откачки воды из рабочего объема, с:

$$t_{\text{откачки}} = \frac{W}{Q_{\text{нс}}}, \quad (24)$$

где $Q_{\text{нс}}$ – производительность насоса л/с.

Приток воды в скважину-дрену за время откачки, л:

$$W_2 = qt, \quad (25)$$

где q – приток воды в скважину-дрену, л/с.

Суммарный объем откачиваемой жидкости за один цикл: $W = W_1 + W_2$:

$$t_{\text{наполнения}} = \frac{W_1}{Q_{\text{нс}}}. \quad (26)$$

Время цикла откачки-наполнения составляет, с:

$$t = t_{\text{наполнения}} + t_{\text{откачки}}. \quad (27)$$

Количество включений-выключений насоса в 1 ч:

$$N = \frac{60}{t(\text{в мин})}. \quad (28)$$

Оптимальное количество включений-выключений насоса в 1 ч составляет от 3 до 6.

Результаты расчетов по подбору насосов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Подбор насосов вертикального дренажа
Table 3. Selection of pumps of vertical drainage

№ вертикальных дренажей Number of vertical drains	Рабочий объем скважины – дренажи $W_1, \text{м}^3$ The working volume of the well is drains W_p, m^3	Время откачки $t_{\text{откачки}}, \text{с}$ Pumping time, s	Приток воды в дренаж $q, \text{л/с}$ Inflow of water into the drain $q, \text{l/s}$	Объем воды в дренаже за время откачки $W_2, \text{л}$ The volume of water in the drain during pumping, W_p, l	Суммарный объем откачиваемой жидкости за один цикл $W, \text{л}$ The total volume of pumped liquid in one cycle W, l	Время откачки $t_{\text{откачки}}, \text{с}$ Pumping time $t_{\text{pumping}}, \text{s}$	Время наполнения $t_{\text{наполнения}}, \text{с}$ Filling time $t_{\text{filling}}, \text{s}$	Время цикла откачки-наполнения $t, \text{с}$ Pumping-filling cycle time t, s	Время цикла откачки-наполнения $t, \text{мин}$ Pumping-filling cycle time t, min	Количество включений-выключений насосов час Number of pump on-offs per hour
1	1,96	392,50	1,14	445,95	2408,45	481,69	345,46	827,15	13,79	4,35
2			0,97	381,43	2343,93	468,79	403,89	872,67	14,54	4,13
3			0,75	294,94	2257,44	451,49	522,33	973,81	16,23	3,70
4			0,75	294,94	2257,44	451,49	522,33	973,81	16,23	3,70
5			1,09	426,47	2388,97	477,79	361,24	839,03	13,98	4,29
6			0,82	322,82	2285,32	457,06	477,22	934,28	15,57	3,85
7			0,41	160,82	2123,32	424,66	957,91	1382,58	23,04	2,60
8			0,38	147,49	2109,99	422	1044,53	1466,53	24,44	2,45
9			0,31	122,72	2085,22	417,04	1255,3	1672,35	27,87	2,15
10			0,47	185,99	2148,49	429,7	828,3	1258	20,97	2,86
11			0,31	122,72	2085,22	417,04	1255,3	1672,35	27,87	2,15
12			0,34	134,14	2096,64	419,33	1148,49	1567,82	26,13	2,30
13			0,41	160,82	2123,32	424,66	957,91	1382,58	23,04	2,60
14			0,41	160,82	2123,32	424,66	957,91	1382,58	23,04	2,60
15			0,63	247,11	2209,61	441,92	623,43	1065,35	17,76	3,38
16			0,63	247,11	2209,61	441,92	623,43	1065,35	17,76	3,38
17			0,48	187,48	2149,98	430	821,71	1251,7	20,86	2,88
18			0,41	160,54	2123,04	424,61	959,6	1384,21	23,07	2,60
19			0,59	233,01	2195,51	439,1	661,15	1100,25	18,34	3,27
20			0,84	328,38	2290,88	458,18	469,13	927,31	15,46	3,88

По напору и расходу воды были подобраны данные марки насосов:

Grundfos AP12.40.08A3 для следующих номеров вертикальных дренажей 1-6, 10, 20;

Grundfos AP12.40.06A3 – соответственно 8, 9, 11, 12, 15-17, 19;

Grundfos AP12.40.04A3 – соответственно 7, 13, 14, 18.

Выводы

Анализ открытых источников показал, что для рассматриваемых условий отсутствуют необходимая конструкция дренажа, способ его строительства и метод расчета. Поэтому была разработана конструкция вертикального дренажа и обоснован метод расчета, необходимые для

нормальной работы музейного комплекса «Куликово поле».

Предлагаемая конструкция дренажа, способ его строительства (получен патент на изобретение RU2415998 C1) и метод расчета апробированы при осушении подвальных помещений глубокого заложения музейного комплекса «Куликово поле». Функционирование без сбоя (2017-2024 гг.) данного вертикального дренажа доказывает его работоспособность и правильность предложенного технического решения.

Организациям по проектированию дренажных систем рекомендуется использовать разработанную авторами конструкцию дренажа, способ его строительства и метод расчета при осушении фундаментов зданий и сооружений глубокого заложения.

Список использованных источников

1. Колевтинов Д.С. Обзор трансформации ландшафтов государственного природно-исторического музея-заповедника «Куликово Поле» / Огородников С.С., Мельникова А.А., Борзилов К.В. // Молодой ученый. 2020. № 3 (293). С. 72-74. URL: <https://moluch.ru/archive/293/66450/> (дата обращения: 02.07.2023).

2. Пугин К.Г., Елькин А.В. Оценка геоэкологической безопасности дренажных систем и геоматериалов из пластика // Управление техносферой. 2023. Т. 6, № 4. С. 536-553.

3. Патент № 2640600 C1. Российская Федерация, МПК E02D31/02. Пристенный дренаж / А.Л. Невзоров, А.В. Никитин, О.М. Заборская; Заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ). Заявка № 2016144204. Заявл. 10.11.2016; Опубл. 10.01.2018.

4. Патент на полезную модель № 178378 U1. Российская Федерация, МПК E02B11/00. Вертикальный дренаж / П.С. Пинчук, А.В. Паштыков, Е.П. Пинчук; Заяв. ООО «СибТрансСтрой». Заявка № 2017121087. Заявл. 15.06.2017; Опубл. 02.04.2018.

5. Патент № 2718041 C2. Российская Федерация, МПК E01C11/22, E03F 3/04. Устройство поверхностного дренажа / А. Майнке, Р. Ириг; Заяв. АКО ЗЕВЕРИН АЛЬМАНН ГМБХ УНД КО КОММАНДИТГЕЗЕЛЬШАФТ (DE). Заявка № 2018130012. Заявл. 20.01.2017; Опубл. 30.03.2020.

6. Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О. Защита подземных вод от негативного воздействия полигона токсичных отходов // Геологический вестник. 2023. № 3. С. 130-140.

7. Патент № 2415998 C1. Российская Федерация, МПК E02B11/00. Способ строительства вертикального дренажа / В.В. Пчёлкин, В.И. Сметанин; Заявитель ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет природообустройства» (МГУП). Заявка № 2009144896/21; Заявл. 04.12.2009; Опубл. 10.04.2011.

8. Мелиорация земель. Учебник. 2-е изд., испр. и доп. / Голованов А.И., Айдаров И.П., Григоров М.С. и др. СПб.: Лань, 2015. 832 с.

References

1. Koletvinov D.S. Review of the transformation of the landscapes of the state natural and historical museum-reserve Kulikovo Pole / D.S. Koletvinov, S.S. Ogorodnikov, A.A. Melnikova, K.V. Borzilov // Young scientist. 2020. № 3 (293). P. 72-74. URL: <https://moluch.ru/archive/293/66450/> (accessed: 02.07.2023).

2. Pugin K.G. Assessment of geoeological safety of drainage systems and geomaterials from plastics / K.G. Pugin, A.V. Elkin // Technosphere management. 2023. V. 6, No 4. P. 536-553.

3. Patent No 2640600 C1 Russian Federation, IPC E02D31/02. Wall drainage / A.L. Nevzorov, A.V. Nikitin, O.M. Zaborskaya; applicant: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov" (NArFU). – Application No 2016144204: application 10.11.2016; publ. 10.01.2018.

4. Utility model patent No 178378 U1 Russian Federation, IPC E02B11/00. Vertical drainage / P.S. Pinchuk, A.V. Pashtykov, E.P. Pinchuk; the applicant is SibTransStroy LLC. Application No 2017121087: application. 15.06.2017; publ. 02.04.2018.

5. Patent No 2718041 C2 Russian Federation, IPC E01C11/22, E03F 3/04. Arrangement of surface drainage / A. Meinke, R. Irig; Applicant ACO SEVERIN AHLMN GMBH UND KO KOMMANDITGESELLSCHAFT (DE) – Application No 2018130012: Application. 20.01.2017 publ. 30.03.2020.

6. Abdrakhmanov R.F., Poleva A.O. Protection of underground waters from the negative impact of the toxic waste landfill]. 2023. № 3. P. 130-140.

7. Patent No 2415998 C1 Russian Federation, IPC E02B11/00. Method of construction of vertical drainage / V.V. Pchelkin, V.I. Smetanin; applicant: Moscow State University of Environmental Engineering. Application No 2009144896/21: application. 04.12.2009: publ. 10.04.2011.

8. Land reclamation: a textbook / A.I. Golovanov, I.P. Aidarov, M.S. Grigоров [and others]. 2nd edition, corrected and additional. St. Petersburg, Lan Publ., 2015. 832 p.

9. Abramov S.K. Underground drainage in industrial and urban construction. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1967. 240 p.

9. **Абрамов С.К.** Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве: М.: Госстройиздат, 1967. 240 с.

10. **Васильев С.В., Глейзер Б.А., Веригин Н.Н.** Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. / Под ред. д-ра техн. наук проф. Н.Н. Веригина. М.: Колос, 1970. 440 с.

11. **Пчёлкин В.В.** Осушение земель поселений: учебное пособие. М.: «Спутник+», 2021. 178 с.

12. **Романов А.В.** Приток воды к водозаборам подземных вод и дренам // Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений. Сборник статей. М.: Государственное изд-во по строительству и архитектуре, 1952. С. 62-93.

Об авторах

Виктор Владимирович Пчёлкин, д-р техн. наук, профессор кафедры «Сельскохозяйственных мелиораций» <https://orcid.org/0000-0003-3625-9949>, SPIN-код: 6299-5005, AuthorID: 417238; 9766793@mail.ru

Кристина Сергеевна Семенова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидротехнических сооружений» <https://orcid.org/0000-0002-4446-4435>, SPIN-код: 1426-1908, AuthorID: 912890; kristi11.05.88@yandex.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Пчёлкин В.В., Семенова К.С. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов / Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests / Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Вклад авторов / Authors' contributions

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 11.03.2024

Поступила после рецензирования / Received after peer review 01.06.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 01.06.2024

10. **Vasilyev S.V., Gleyzer B.A., Verigin N.N.** Methods of filtration calculations of hydro-reclamation systems / Edited by doctor of technical sciences N.N. Verigin. Moscow, Kolos Publ., 1970. 440 p.

11. **Pchelkin V.V.** Drainage of settlement lands: tutorial. M.: "Sputnik+", 2021. 178 p.

12. **Romanov A.V.** Water inflow to the water intakes of underground waters and drains / In the collection Issues of filtration calculations of hydraulic structures. Collection of articles. Moscow: State Publishing House for Construction and Architecture, 1952. P. 62-93.

About the authors

Victor V. Pchelkin, DSc (Eng), professor of the department "Agricultural land reclamations"; <https://orcid.org/0000-0003-3625-9949>, SPIN-code: 6299-5005, AuthorID: 417238; 9766793@mail.ru

Cristina S. Semenova, CSc (Eng), associate professor of the department "Hydro technical structures" <https://orcid.org/0000-0002-4446-4435>, SPIN-code: 1426-1908, AuthorID: 912890; kris-ti11.05.88@yandex.ru

Pchelkin V.V., Semenova K.S. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.